

УДК 622.691.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РУХУ ПОРШНЯ НА НАДІЙНІСТЬ БАЛКОВОГО ПЕРЕХОДУ, ПРОКЛАДЕНОГО ЗА СХЕМОЮ ПРУЖНОВИКРИВЛЕНОГО ТРУБОПРОВОДУ

Я.В. Дорошенко, Ю.І. Дорошенко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: public@nung.edu.ua

Наведено методику розрахунку впливу інерційної відцентрової сили, обумовленої рухом поршня надземним балковим переходом, покладеним за схемою пружновикривленого трубопроводу, на стрілку прогину трубопроводу. Встановлено, що температура довкілля є основним чинником, який впливає на надійність надземного балкового переходу, прокладеного за схемою пружновикривленого трубопроводу. Визначено температуру довкілля, перевищення якої може призвести до перевищення стрілки прогину трубопроводу (під час руху поршня переходом) значення максимальної розрахункової стрілки прогину трубопроводу і до зміщення трубопроводу з вільно-рухомої опори.

Ключові слова: балковий перехід, пружновикривлений трубопровід, надійність, стрілка прогину, поршень, інерційна відцентрова сила, температура довкілля.

Приведена методика расчета влияния инерционной центробежной силы, обусловленной движением поршня по надземному балочному переходу, проложенному по схеме упругоискривленного трубопровода, на стрелку прогиба трубопровода. Установлено, что температура окружающей среды является основным фактором, влияющим на надежность надземного балочного перехода, проложенного по схеме упругоискривленного трубопровода. Определена температура окружающей среды, превышение которой может привести к превышению стрелки прогиба трубопровода (при движении поршня по переходу) значения максимальной расчетной стрелки прогиба трубопровода и к смещению трубопровода со свободно-подвижной опоры.

Ключевые слова: балочный переход, упругоискривленный трубопровод, надежность, стрелка прогиба, поршень, инерционная центробежная сила, температура окружающей среды.

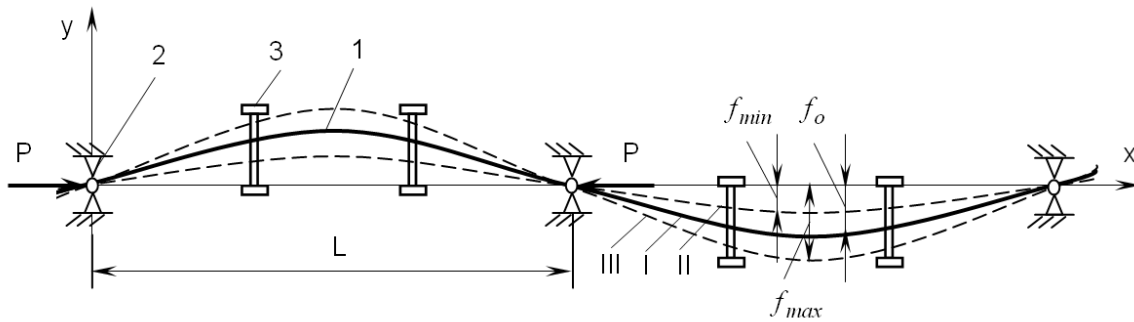
A method of calculation the influence of inertial centrifugal force caused by the pig movement on beam bridge on a pipeline sagging direction is presented, laid under the elastic curved pipeline scheme on pipeline deflection. The ambient temperature was established to be the main factor affecting the reliability of the beam bridge laid under the scheme of elastic curved pipeline. The value of ambient temperature was calculated, exceeding of it may cause the excess of pipeline deflection (wails pigging through the bridges), then its maximum calculated value and correspondingly the shift of the pipeline laid on the free-moving support were observed.

Keywords: beam bridge, elastic curved pipeline, reliability, value of deflection, pig, inertial centrifugal force, ambient temperature.

Надземна схема прокладання трубопроводів застосовується для перетину різного роду природних і штучних перешкод, коли застосування підземної схеми є недоцільним. Найчастіше надземна схема застосовується для прокладання трубопроводів через яри, ріки з нестійким руслом, дно яких сильно розмивається, малі річки з високими берегами. Застосування надземної схеми прокладання є також доцільним в місцях вічномерзлих ґрунтів, при перетині трубопроводом територій, які підробляються, тобто ділянок місцевості, під денною поверхнею яких вибираються породи чи корисні копалини, в болотистій та гірській місцевостях, на ділянках зсуву. Одним з видів балкової надземної конструктивної схеми прокладання трубопроводів з компенсацією видовжень труб, зумовлених зміною температури і внутрішнього тиску, є пружновикривлений трубопровід (рис. 1) [1]. Компенсація видовжень досягається за рахунок зміни початкового положення трубопроводу, укладеного у вигляді синусоїди на опорах. Шарнірні опори 2 не дають трубопроводу переміщуватись як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. На вільно-рухомих опорах 3 трубопровід переміщується в

поперечному напрямі, чим і досягається ефективність компенсації.

Після укладання секції на опори трубопровід викривлюють у горизонтальній площині за синусоїдою (положення I), і за температури монтажу t_o замикають стики. Зміна довжини трубопроводу внаслідок підвищення або зниження його температури порівняно з температурою монтажу призводить до зміни стрілки прогину f_o . Найбільшу стрілку горизонтально-го прогину f_{max} (положення III) розраховують таким чином, щоб забезпечити можливість компенсації температурних деформацій для максимального розрахункового перепаду температур, а також деформації від дії внутрішнього тиску. Однак цей розрахунок не враховує збільшення стрілки прогину трубопроводу, яке буде відбуватись під час руху очисних і інтелектуальних поршнів криволінійною ділянкою переходу між шарнірними опорами. Внаслідок дії інерційної відцентрової сили на поршень та забруднення, які рухаються перед ним, трубопровід зміщуватиметься в поперечному напрямі. За певної температури довкілля це може призвести до перевищення стрілкою прогину



1 – трубопровід; 2 – шарнірна опора; 3 – вільно-рухома опора

Рисунок 1 – Схема пружновикривленого трубопроводу

трубопроводу її максимального розрахункового значення і зміщення трубопроводу з вільно-рухомою опорою, оскільки ширина вільно-рухомої опори розраховується залежно від максимальної розрахункової стрілки прогину трубопроводу.

Дослідженню динаміки руху поршнів трубопроводами присвячені роботи [2, 3, 4]. Однак в усіх цих роботах не враховано вплив руху поршня на конструктивні елементи трубопроводів, зокрема надземні переходи.

Для запобігання перевищенню стрілки прогину трубопроводу значення максимальної розрахункової стрілки прогину і зміщення трубопроводу з вільно-рухомою опорою пружновикривленого трубопроводу необхідно визначити температуру довкілля t_c так, щоб стрілка прогину, яка була розрахована для максимального розрахункового перепаду температур, була б рівна сумі стрілки прогину, яка утворилася від дії температури t_c , а також внутрішнього тиску і збільшення стрілки прогину трубопроводу від дії на поршень інерційної відцентрової сили. Тобто

$$f_{\max} = f_{tc} + \Delta f_n, \quad (1)$$

де: f_{tc} – стрілка прогину від дії температури t_c і внутрішнього тиску;

Δf_n – збільшення стрілки прогину від дії інерційної відцентрової сили, яка виникає під час руху поршня криволінійною ділянкою.

Згідно з [1] максимальна стрілка прогину від дії максимально можливої розрахункової температури і внутрішнього тиску

$$f_{\max} = \left\{ f_0^2 + 4 \frac{L^2 \alpha_t (t_{\max} - t_0)}{\pi^2} + \frac{0,4PD_B L (L + \alpha_t L (t_{\max} - t_0))}{\pi^2 E \delta_n} \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

де: L – відстань між шарнірними опорами;
 α_t – коефіцієнт лінійного розширення металу труби;

t_{\max} – максимально можлива розрахункова температура;

P – робочий тиск;

D_B – внутрішній діаметр трубопроводу;

E – модуль пружності металу труби;

δ_n – номінальна товщина стінки трубопроводу.

Стрілка прогину від дії температури t_c і внутрішнього тиску

$$f_{tc} = \left\{ f_0^2 + 4 \frac{L^2 \alpha_t (t_c - t_0)}{\pi^2} + \frac{0,4PD_B L (L + \alpha_t L (t_c - t_0))}{\pi^2 E \delta_n} \right\}^{1/2}. \quad (3)$$

Робота сил при переміщенні трубопроводу з положення I в положення III

$$A_p = A_{tc} + A_n = P \Delta + A_n =$$

$$= \frac{P \pi^2}{4L} (f_{tc}^2 - f_o^2) + N_n (\Delta f_n - f_o) \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L}, \quad (4)$$

де: A_{tc} – робота сил, зумовлених температурним перепадом і внутрішнім тиском;

A_n – робота інерційної відцентрової сили;

Δ – фіктивне зближення шарнірних опор;

P – поздовжня стискаюча сила, визначається згідно з [1];

$(\Delta f_n - f_o) \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L}$ – сума горизонтальних переміщень трубопроводу, які виникли під дією інерційної сили;

n – кількість вільно-рухомих опор між шарнірними опорами;

N_n – інерційна відцентрова сила, яка згідно з [5] рівна

$$N_n = \frac{mV^2}{R}, \quad (5)$$

де: m – маса поршня;

V – швидкість руху поршня;

R – радіус криволінійної ділянки між шарнірними опорами, який рівний

$$R = \frac{4f_{\max}^2 + L^2}{8f_{\max}}. \quad (6)$$

Робота сил тертя

$$A_Q = Q(f_{max} - f_o) \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L}, \quad (7)$$

де: $(f_{max} - f_o) \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L}$ – сума горизонтальних переміщень при переході трубопроводу з положення I в положення III;

Q – сумарна сила тертя

$$Q = n(q_m + q_n + q_z)L\varphi, \quad (8)$$

де: q_m – розрахункова вага 1 м довжини трубопроводу;

q_n – вага поршня;

q_z – вага очікуваних забруднень;

φ – коефіцієнт ковзання трубопроводу на опорах.

Оскільки $A_P = A_Q$, отримуємо

$$\begin{aligned} \frac{P\pi^2}{4L} (f_{ic}^2 - f_o^2) + N_n (Af_n - f_o) \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L} = \\ = Q(f_{max} - f_o) \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L}. \end{aligned} \quad (9)$$

Звідси, враховуючи (1), визначаємо

$$Af_n = \frac{\frac{P\pi^2}{4L} \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L} (f_{ic}^2 - f_o^2) - Q(f_{ic} - f_o) - N_n f_o}{Q - N_n}. \quad (10)$$

Підставивши (2) і (10) в (1), отримаємо

$$\begin{aligned} \sqrt{f_o^2 + 4 \frac{L^2 \alpha_t (t_{max} - t_o)}{\pi^2} + \frac{0,4PD_B L (L + \alpha_t L (t_{max} - t_o))}{\pi^2 E \delta_n}} = \\ = f_{ic} + \frac{\frac{P\pi^2}{4L} \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L} (f_{ic}^2 - f_o^2) - Q(f_{ic} - f_o) - N_n f_o}{Q - N_n}. \end{aligned} \quad (11)$$

Звідси

$$\begin{aligned} f_{ic} = \sqrt{f_o^2 + 4 \frac{L^2 \alpha_t (t_{max} - t_o)}{\pi^2} + \frac{0,4PD_B L (L + \alpha_t L (t_{max} - t_o))}{\pi^2 E \delta_n}} - \\ - \frac{\frac{P\pi^2}{4L} \sum_1^n \sin \frac{\pi x}{L} (f_{ic}^2 - f_o^2) - Q(f_{ic} - f_o) - N_n f_o}{Q - N_n}. \end{aligned} \quad (12)$$

З рівняння (12) методом ітерації визначаємо f_{ic} , а з рівняння (3) визначаємо температуру, за якої стрілка прогину трубопроводу (з врахуванням стрілки прогину від дії інерційної відцентрової сили при русі поршня) буде максимальною

$$t_c = \frac{\frac{\pi^2}{4L^2 \alpha_t} (f_{ic}^2 - f_o^2) - \left(\frac{0,4PD_B (1 - \alpha_t t_o)}{\alpha_t E \delta_n} - t_o \right)}{1 + \frac{0,4PD_B}{E \delta_n}}. \quad (13)$$

Температура довкілля є основним чинником, який впливає на надійність надземного балкового переходу, прокладеного за схемою пружновикривленого трубопроводу. Якщо вона перевищує температуру t_c , визначену за допомогою наведеного розрахунку, то під час руху поршня трубопроводом, прокладеним за схемою пружновикривленого трубопроводу, можливе перевищення стрілки прогину трубопроводу максимальної розрахункової стрілки прогину і зміщення трубопроводу з вільно-рухомої опори.

Література

- 1 Бородавкін П.П. Сооружение магистральных трубопроводов [Текст]: учебник для вузов / П.П. Бородавкін, В.Л. Березин. – М.: Недра, 1977. – 407 с.
- 2 Грудз В. Математичне моделювання руху інтелектуального поршня по газопроводу [Текст] / Володимир Грудз, Віталій Бакаєв, Ярослав Грудз // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – № 4. – С. 29–30.
- 3 Грудз В.Я. Методика оптимізації процесу очищення магистральних газопроводів [Текст] / В.Я. Грудз, В.Б. Михалків, Д.Ф. Тимків. – Івано-Франківськ: Факел, 2005. – 51 с.
- 4 Калашников П.К. Механика движения внутритрубных снарядов в рельефных нефтепроводах [Текст] / Петр Калашников // Известия вузов «Нефть и газ». – 2009. – №6. – С. 38–44.
- 5 Смолдырев А.Е. Пневматический транспорт штучных грузов [Текст] / А.Е. Смолдырев, А.В. Тантлевский. – М.: Машиностроение, 1979. – 325 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
20.09.11

Рекомендована до друку професором
Грудзом В.Я.